

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 <https://esj.today/issue-6-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Щербань Е.М., Стельмах С.А., Ванян С.С., Евсюков К.К., Зарецкий А.В., Коржаева Е.Э. Особенности изменения прочностных и деформативных характеристик обычного и модифицированного центрифугированных бетонов при циклическом замораживании и оттаивании // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Vanyan S.S., Evsyukov K.K., Zaretskii A.V., Korzhaeva E.E. (2019). Features of changing the strength and deformation characteristics of conventional and modified centrifuged concrete during cyclic freezing and thawing. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Щербань Евгений Михайлович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: au-geen@mail.ru

**Стельмах Сергей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

**Ванян Самвел Самвелович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: slamvan13@yandex.ru

**Евсюков Кирилл Константинович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: evkiko96@mail.ru

**Зарецкий Александр Вячеславович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: alex.zaretsky@yandex.ru

**Коржаева Екатерина Эдуардовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: e\_korzhaeva@mail.ru

## Особенности изменения прочностных и деформативных характеристик обычного и модифицированного центрифугированных бетонов при циклическом замораживании и оттаивании

**Аннотация.** Актуальным направлением в строительной науке является совершенствование технологий железобетонных изделий и конструкций с целью повышения их эксплуатационных характеристик. Проблема обеспечения стойкости железобетонных конструкций при замораживании-оттаивании решается как технологическими мероприятиями (состав, добавки, режим формования и другими), формирующими структуру пор бетона, отличающуюся высокой морозостойкостью при одновременно высокой прочности, так и мерами конструктивного характера (геометрия, армирование). Длительная стойкость центрифугированного бетона в конструкциях зависит от изменения его прочностных и деформативных характеристик при многократном замораживании и оттаивании в увлажненном состоянии. Авторами проведены исследования на составах бетона, отличающихся структурой за счет введения химических добавок – суперпластификатора-разжижителя С-3, а также комплексной добавки С-3 и воздухововлекающей добавки Аэромикс. Из экспериментальных данных об изменении призмочной прочности и модуля упругости следует, что морозостойкость центрифугированного бетона без добавок была значительно ниже морозостойкости бетона образцов, отформованных центрифугированием из равноподвижных смесей с добавкой С-3 и комплексной добавкой С-3 + Аэромикс. Выявлено, что использование суперпластификатора С-3 при изготовлении центрифугированных железобетонных конструкций открывает возможность получения бетона высокой прочности и морозостойкости. Также, при условии одинаковой морозостойкости вибрированного и центрифугированного бетонов, последний обладает большим ресурсом по долговечности за счет более высоких начальных физико-механических характеристик. Рассмотрение зависимостей изменения прочностных и деформативных характеристик центрифугированного бетона в процессе циклического замораживания и оттаивания свидетельствует о более существенном снижении модуля упругости по сравнению с призмочной прочностью.

### **Вклад авторов.**

Щербань Евгений Михайлович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Стельмах Сергей Анатольевич – автор осуществил написание статьи.

Ванян Самвел Самвелович – автор осуществил написание статьи.

Евсюков Кирилл Константинович – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Зарецкий Александр Вячеславович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Коржаева Екатерина Эдуардовна – автор оказывал участие при оформлении статьи.

**Ключевые слова:** долговечность; циклы замораживания и оттаивания; морозостойкость; вибрирование; центрифугирование; суперпластификатор; воздухововлекающая добавка; призмочная прочность; модуль упругости

Анализ многочисленных экспериментально-теоретических исследований подтверждает сложность и неоднозначность влияния низких температур на водонасыщенный железобетон. Физическая неоднородность бетона, а также бетона и стали обусловили возникновение температурно-напряженного состояния, которое при определенных условиях способно интенсифицировать процесс снижения сопротивляемости материалов силовым воздействиям [1–4].

Актуальным направлением в строительной науке является совершенствование технологий железобетонных изделий и конструкций с целью повышения их эксплуатационных характеристик.

Долговечность железобетонных конструкций, изготовленных методом центрифугирования, исследовалась рядом отечественных ученых [1–4].

Е. Хонигманном в процессе испытаний отрезков центрифугированных опор ЛЭП с искусственными образованными поперечными трещинами по ускоренной методике было выявлено, что при ширине раскрытия трещин до 0,3 мм опасное развитие коррозионных проявлений на арматуре не проявлялось. С учетом этого, кратковременное раскрытие трещин до 0,5 мм более безопасно [5; 6].

И.Н. Ахвердов выполнил широкомасштабные исследования стойкости центрифугированного бетона напорных труб к коррозии. Для улучшения свойств бетона труб, а также снижения его проницаемости им предложен способ послойного центрифугирования. Этот способ ведет к большей однородности структуры бетона изделия по сечению [3; 4].

Крупномасштабные натурные испытания центрифугированных железобетонных опор и свай-оболочек были проведены под руководством С.В. Шестоперова и Ф.М. Иванова. По результатам их исследований выявлено появление сетки продольных волосяных трещин на наружной поверхности всех опор после 100 циклов замораживания и оттаивания, при это наблюдается шелушение растворной части бетона с внутренней поверхности.

Для повышения морозостойкости бетона железобетонных центрифугированных свайоболочек, были проведены исследования влияния воздухововлекающих и комплексных добавок. Наибольшую морозостойкость продемонстрировал центрифугированный бетон с воздухововлекающей добавкой, выдержавший 2300 циклов. В ряде работ сравнивалась морозостойкость бетонов, отформованных вибрированием и центрифугированием.

Проблема обеспечения стойкости железобетонных конструкций при замораживании-оттаивании решается как технологическими мероприятиями (состав, добавки, режим формования и другие), формирующими структуру пор бетона, отличающуюся высокой морозостойкостью при одновременно высокой прочности, так и мерами конструктивного характера (геометрия, армирование) [7; 8].

На морозостойкость центрифугированных конструкций, кроме того, оказывают влияние особенности, связанные со спецификой формования.

Специфика проектирования железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях водонасыщения и циклического замораживания и оттаивания, состоит в двух взаимосвязанных подходах: технологическом и расчетно-конструктивном [2]. Целью первого является формирование структуры и текстуры бетона, стойких к воздействию многократного замораживания и оттаивания в увлажненном состоянии. Второй сводится к учету в расчетах дополнительных ограничений на показатели сопротивляемости бетона ( $R_b$ ,  $R_{bt}$ ,  $E_b$ ), на параметры, определяющие условия работы арматуры в бетоне и другое.

Длительная стойкость центрифугированного бетона в конструкциях зависит от изменения его прочностных и деформативных характеристик при многократном замораживании и оттаивании в увлажненном состоянии [5; 6].

Авторами проведены исследования на составах бетона, отличающихся структурой за счет введения химических добавок – суперпластификатора-разжижителя С-3, а также комплексной добавки С-3 и воздухововлекающей добавки Аэромикс. Составы бетонов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы бетонных смесей

Серия образцов	Вид добавки	Количество добавки, % от массы цемента	Расход материалов, (кг/м <sup>3</sup> )					Осадка конуса, см
			Ц	П	Щ	В	В/Ц	
СЦ-1	-	-	480	630	1130	180	0,375	2–4
СЦ-2	С-3	0,7	480	647	1158	140	0,292	2–4
СЦ-3	С-3+Аэромикс	0,7+0,3	480	654	1165	130	0,271	2–4

Основное различие между составами бетона характеризуется водоцементными отношениями и прочностью, а именно: СЦ-1 без добавок  $V/C = 0,375$ ,  $R_b = 45,5$  МПа; СЦ-2 с добавкой С-3 (0,7 % от массы цемента)  $V/C = 0,292$ ;  $R_b = 53,9$  МПа и СЦ-3 с добавкой С-3 + Аэромикс (0,7+0,3 % от массы цемента)  $V/C = 0,271$ ;  $R_b = 39,4$  МПа. Понижение прочности состава СЦ-3 при самом низком  $V/C$  обусловлено увеличением воздухововлечения, которое было необходимо для придания повышенной морозостойкости.

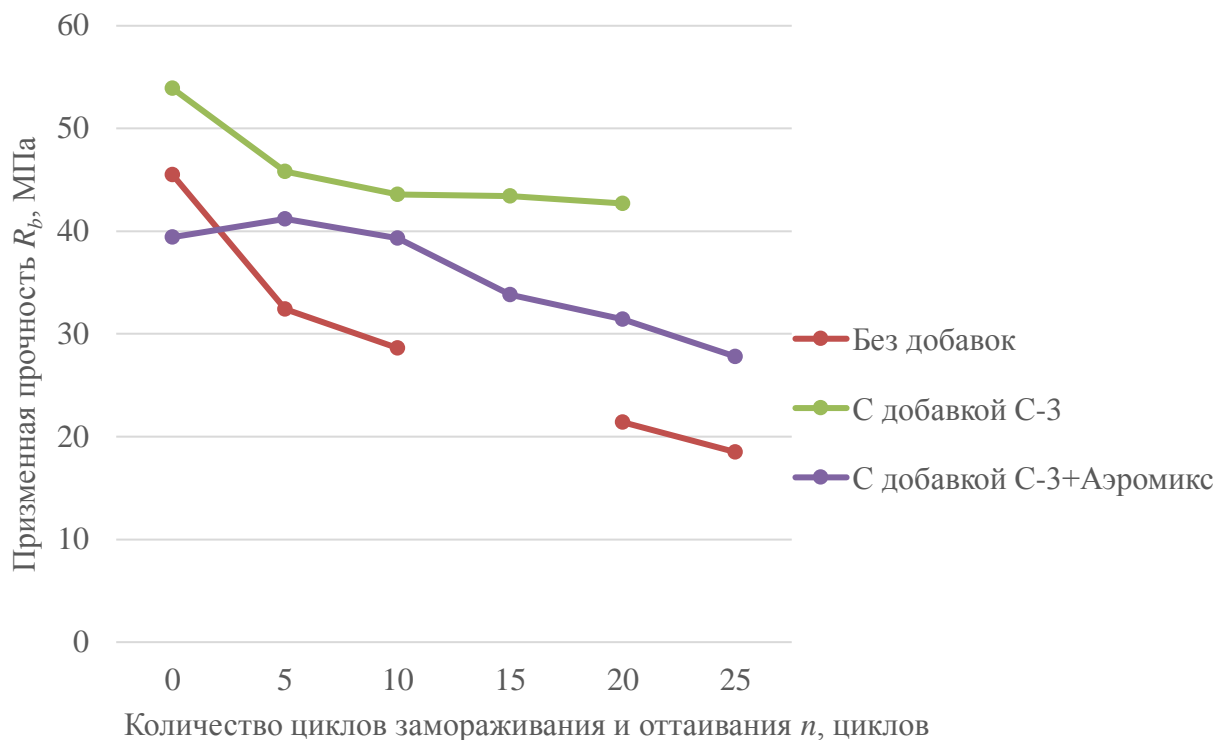
В таблице 2 приведены значения призмной прочности  $R_b$  и модуля упругости  $E_b$  центрифугированного бетона, подвергаемого циклическому замораживанию и оттаиванию. Все характеристики прочности и деформативности определены на образцах в оттаянном состоянии. Предел исчерпания морозостойкости определялся по снижению призмной прочности центрифугированного бетонного элемента кольцевого сечения на 15 %.

Из экспериментальных данных об изменении  $R_b$  и  $E_b$  следует, что морозостойкость центрифугированного бетона без добавок (СЦ-1) была значительно ниже морозостойкости бетона образцов, отформованных центрифугированием из равноподвижных смесей с добавкой С-3 и комплексной добавкой С-3 + Аэромикс (СЦ-2 и СЦ-3).

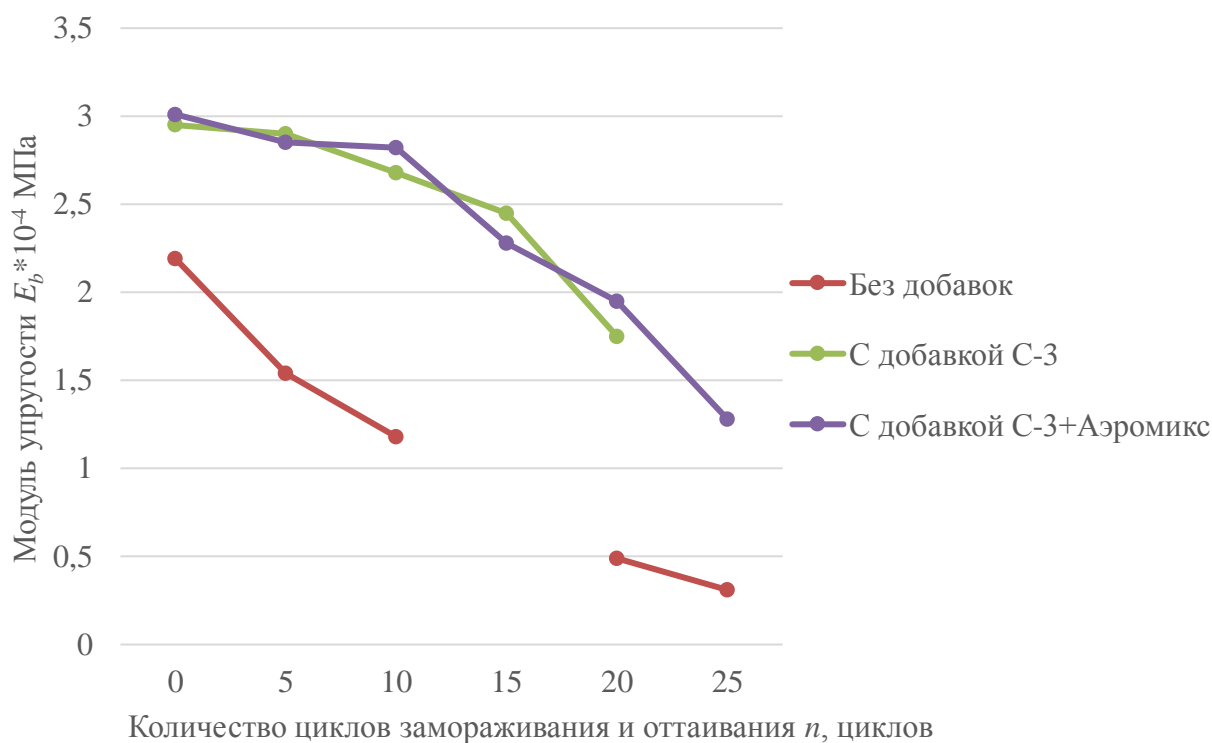
У образцов СЦ-1 снижение призмной прочности  $R_b$  через 5 циклов замораживания и оттаивания составило 29 %, а модуля упругости  $E_b$  – 30 %, в то время как аналогичные характеристики центрифугированного бетона СЦ-2 после 25 циклов уменьшились соответственно на 21 % и 41 %.

Центрифугированный бетон с комплексной добавкой (СЦ-3), подвергнутый 20 циклам замораживания и оттаивания, показал снижение призмной прочности  $R_b$  на 20 %, модуля упругости  $E_b$  – на 35 %.

Таким образом, предел исчерпания морозостойкости центрифугированного бетона серий СЦ-1, СЦ-2, СЦ-3 наступал соответственно до 5, 25 и 20 циклов замораживания и оттаивания по ускоренной методике. Графики зависимостей  $R_b(n)$  и  $E_b(n)$  представлены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1.** Изменение призмной прочности центрифугированных образцов при циклах замораживания и оттаивания



**Рисунок 2.** Изменение модуля упругости центрифугированных образцов при циклах замораживания и оттаивания

Таблица 2

**Прочностные и деформативные характеристики  
центрифугированных бетонных образцов при циклическом  
замораживании и оттаивании**

Серия опытных образцов	Кол-во ЦЗО	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости $E_b \cdot 10^{-4}$ , МПа	Относительная прочность через $n$ циклов $\frac{R_{b(n)}}{R_{b(0)}}$	Относительный модуль упругости через $n$ циклов $\frac{E_{b(n)}}{E_{b(0)}}$
СЦ-1	0	45,5	2,19	1	1
	5	32,4	1,54	0,71	0,70
	10	28,6	1,18	0,63	0,54
	20	21,4	0,49	0,47	0,22
	25	18,5	0,31	0,41	0,14
СЦ-2	0	53,9	2,95	1	1
	5	45,8	2,90	0,85	0,98
	10	43,6	2,68	0,81	0,91
	15	43,4	2,45	0,81	0,83
	20	42,7	1,75	0,79	0,58
СЦ-3	0	39,4	3,01	1	1
	5	41,2	2,85	1,05	0,95
	10	39,3	2,82	0,99	0,94
	15	33,8	2,28	0,86	0,76
	20	31,4	1,95	0,80	0,65
	25	27,8	1,28	0,71	0,43

Примечания:

1.  $R_{b(0)}$ ,  $E_{b(0)}$  – средние призменная прочность и модуль упругости контрольных образцов.
2.  $R_{b(n)}$ ,  $E_{b(n)}$  – то же для образцов, подвергнутых циклам замораживания и оттаивания.

Для приведения результатов испытаний центрифугированных образцов кольцевого сечения по ускоренной методике к стандартной марке по морозостойкости в соответствии с планом исследований были испытаны 6 серий вибрированных образцов в количестве 72 штук идентичных по исходному составу бетонной смеси образцам, отформованным центрифугированием [7–9].

Пять серий опытных образцов размерами 100x100x100 мм были испытаны по ускоренному методу ГОСТ 10060-2012, полностью соответствующему методике испытания центрифугированных образцов кольцевого сечения. Данные по морозостойкости пяти серий образцов одинакового состава, представляющие интерес для последующего анализа, приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Прочность на сжатие образцов 100x100x100 мм, испытанных по ускоренной методике**

Серия образцов	Число циклов замораживания и оттаивания $n$ , циклов	Прочность на сжатие $R$ , МПа	Относительная прочность $\frac{R_{(n)}}{R_{(0)}}$	Марка по морозостойкости
СВ-1	0	58,2	1,0	F100
	5	46,4	0,80	
	10	41,5	0,71	
	15	35,1	0,60	
	20	30,9	0,53	

Серия образцов	Число циклов замораживания и оттаивания $n$ , циклов	Прочность на сжатие $R$ , МПа	Относительная прочность $\frac{R_{(n)}}{R_{(0)}}$	Марка по морозостойкости
СВ-2	0	69,5	1,0	F300
	5	63,9	0,92	
	10	57,4	0,81	
	15	56,0	0,81	
	20	46,7	0,67	
	25	45,2	0,65	
СВ-3	0	67,8	1,0	F600
	5	60,6	0,89	
	10	59,9	0,88	
	15	55,8	0,82	
	20	51,6	0,76	
	25	50,7	0,75	

Исходя из этого морозостойкость центрифугированного бетона без добавок может быть оценена маркой F100, тогда как морозостойкость центрифугированного бетона с добавкой суперпластификатора С-3 и комплексной добавкой С-3 + Аэромикс соответствует маркам F600 и F400.

Марка по морозостойкости образцов серий СВ-1, СВ-2, СВ-3, отформованных вибрированием из тех бетонных смесей, что и центрифугированные образцы серий СЦ-1, СЦ-2, СЦ-3, была соответственно F100, F300 и F600. Это свидетельствует о существенных особенностях структуры бетона центробежного формования с добавками.

Центрифугированные бетоны с добавкой суперпластификатора С-3 и комплексным модификатором С-3 + Аэромикс, имеющие начальное водоцементное отношение на 25 % ниже по сравнению с бетоном без добавок, показали стойкость при насыщении 5 % раствором NaCl и циклическом замораживании до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и оттаивании до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 4–5 раз более высокую, чем центрифугированный бетон без добавок. Если к тому же учесть, что образцы серии СЦ-2, имея начальную призмную прочность  $R_b$  на 18,5 % выше прочности бетона без добавок, а после 30 циклов замораживания и оттаивания характеризовались прочностью не менее начальной прочности образцов серий СЦ-1 и СЦ-3, то использование суперпластификатора С-3 при изготовлении центрифугированных железобетонных конструкций открывает возможность получения бетона высокой прочности и морозостойкости.

Кроме того, центрифугированный бетон имеет более высокую прочность по сравнению с вибрированным того же исходного состава. Поэтому, при условии одинаковой морозостойкости вибрированного и центрифугированного бетонов, последний обладает большим ресурсом по долговечности за счет более высоких начальных физико-механических характеристик [10–12].

Рассмотрение зависимостей изменения прочностных и деформативных характеристик центрифугированного бетона в процессе циклического замораживания и оттаивания свидетельствует о более существенном снижении модуля упругости  $E_b$  по сравнению с призмной прочностью.

Особенности изменения прочности и деформативности бетона после циклов замораживания и оттаивания определяются характеристиками поровой структуры центрифугированного бетона с добавками и без добавок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гузеев Е.А., Пинус Б.И. Оценка надежности железобетонных конструкций при низких температурах // Бетон и железобетон, 1984, № 10. С. 9–10.
2. Пинус Б.И. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при низкотемпературных воздействиях: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 1987. 44 с.
3. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
4. Ахвердов И.Н. Перспектива развития технологии производства центрифугированных железобетонных конструкций // Проблемы создания и применения центрифугированных железобетонных конструкций в строительстве. Минск: БелНИИНТИ. 1985. С. 9–11.
5. Леонович С.Н., Зикеев Л.Н. Долговечность центрифугированных железобетонных стоек. Обзорная информация. М.: Информэнерго, 1991. 64 с.
6. Леонович С.Н. Прочность, деформативность и трещиностойкость центрифугированных железобетонных элементов кольцевого сечения при циклическом замораживании и оттаивании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1989. 24 с.
7. Иванов Ф.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
8. Передереева Э.К., Гладков В.С., Иванов Ф.М., Мазов Г.И. Центрифугированный бетон высокой морозостойкости с воздухововлекающими добавками // Гидротехническое строительство. 1971. № 3. С. 37–40.
9. Желтухина Л.И. Повышение коррозионной стойкости центрифугированного бетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. 198 с.
10. Щуцкий В.Л., Стельмах С.А., Насевич А.С., Щербань Е.М., Эдигер В.В., Игнатьева И.Ю. Исследование зависимости некоторых физико-механических характеристик и показателей долговечности тяжелых бетонов от вида технологии их получения // Вестник Евразийской науки, 2019, № 3 URL: [esj.today/PDF/31SAVN319.pdf](https://esj.today/PDF/31SAVN319.pdf).
11. Чернильник А.А., Доценко Н.А., Щербань Е.М., Стельмах С.А., Онишук М.И., Шелковский П.Е. Анализ эксплуатационных факторов, влияющих на долговечность центрифугированных железобетонных изделий и конструкций // Вестник Евразийской науки, 2019, № 3 URL: [esj.today/PDF/54SAVN319.pdf](https://esj.today/PDF/54SAVN319.pdf).
12. Чернильник А.А., Шакая Д.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Доценко Н.А., Максименко Н.А. Актуальность применения полых железобетонных свай и исследование способов повышения их эксплуатационных характеристик // Вестник Евразийской науки, 2019 № 2, <https://esj.today/PDF/28SAVN219.pdf>.



**Shcherban' Evgenii Mikhailovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: au-geen@mail.ru

**Stel'makh Sergei Anatol'evich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

**Vanyan Samvel Samvelovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: slamvan13@yandex.ru

**Evsyukov Kirill Konstantinovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: evkiko96@mail.ru

**Zaretskii Aleksandr Vyacheslavovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: alex.zaretzky@yandex.ru

**Korzhaeva Ekaterina Eduardovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: e\_korzhaeva@mail.ru

## **Features of changing the strength and deformation characteristics of conventional and modified centrifuged concrete during cyclic freezing and thawing**

**Abstract.** The actual direction in construction science is the improvement of technologies for reinforced concrete products and structures in order to increase their operational characteristics. The problem of ensuring the durability of reinforced concrete structures during freezing and thawing is solved both by technological measures (composition, additives, molding mode and others) that form the pore structure of concrete, characterized by high frost resistance with high strength at the same time, and by structural measures (geometry, reinforcement). The long-term durability of centrifuged concrete in structures depends on a change in its strength and deformation characteristics upon repeated freezing and thawing in a wet state. The authors conducted studies on concrete compositions differing in structure due to the introduction of chemical additives – superplasticizer-thinner S-3, as well as complex additives S-3 and air-entraining additives Aeromix. From experimental data on changes in prismatic strength and modulus of elasticity, it follows that the frost resistance of centrifuged concrete without additives was significantly lower than the frost resistance of concrete of samples molded by centrifugation from equal-moving mixtures with S-3 additive and S-3 + Aeromix complex additive. It was revealed that the use of S-3 superplasticizer in the manufacture of centrifuged reinforced concrete structures opens up the possibility of obtaining concrete of high strength and frost resistance. Also, subject to the same frost resistance of vibrated and centrifuged concrete, the latter has a large resource for durability due to higher initial physical and mechanical characteristics. A consideration of the dependences of changes in the strength and deformation characteristics of centrifuged concrete during cyclic freezing and thawing indicates a more significant decrease in the elastic modulus compared to prismatic strength.

**Keywords:** durability; freezing and thawing cycles; frost resistance; vibration; centrifugation; superplasticizer; air-entraining additive; prismatic strength; elastic modulus